



Pro gradu -tutkielma
Meteorologia

Analyysi IFS-mallin ennustevirheestä Pohjois-Euroopassa 1.1.2017 – 6.1.2017

Riku Rasi

4.10.2019

Ohjaaja(t): Dos. Victoria Sinclair

Tarkastajat: Prof. Heikki Järvinen, Dos. Jouni Räisänen

HELSINGIN YLIOPISTO
FYSIIKAN OSASTO

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto



Tiedekunta - Fakultet - Faculty Matemaattis-Luonnontieteellinen		Laitos - Institution - Department Fysiikan Osasto	
Tekijä - Författare - Author Riku Rasi			
Työn nimi - Arbetets titel Analyysi IFS-mallin ennustevirheestä Pohjois-Euroopassa 1.1.2017 – 6.1.2017			
Oppiaine - Läroämne - Subject Meteorologia			
Työn laji/ Ohjaaja - Arbetets art/Handledare - Level/Instructor Pro gradu-tutkielma / dos. Victoria Sinclair		Aika - Datum - Month and year 14.10.2019	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 31
Tiivistelmä - Referat - Abstract <p>Tämä työ tarkastelee kylmää jaksoa Pohjois-Euroopassa ja erityisesti Lapissa 1.1.2017 – 6.1.2017. Tarkastelujaksolla Sodankylässä mitattiin yli neljäkymmentä astetta pakkasta, jonka Euroopan keskipitkien ennusteiden keskuksen säämalli IFS ennusti pintalämpötilan yli kymmenen astetta liian korkeaksi. Kylmä jakso ylettyi aina Bulgariaan ja Kreikkaan asti antaen viitteitä laajemmasta säähäiriöstä. Näistä lähtökohdista lähdin tutkimaan, mikäli lämpötilan yliennustuksen syy olisi laajemman synoptisen skaalan häiriön epätarkka ennustaminen.</p> <p>Työssä visualisoin IFS:n paine ja lämpötilakenttiä Euroopan keskuksen metview alustalla ja vertaan niitä synoptiseen analyysiin sekä pinta- ja luotaushavaintoihin Sodankylästä. Käytän pohjana Euroopan keskuksen omaa raporttia poikkeuksellisesta sääilmiöistä, joka kuitenkin keskittyy enemmän Kaakkois-Euroopan poikkeukselliseen kylmyyteen ja voimakkaisiin lumisateisiin.</p> <p>Työssä havaitaan, että IFS ennusti synoptisen skaalan matalapainejärjestelmien ja muiden säähäiriöiden synnyn ja liikkeet tarkastelujaksolla varsin hyvin. Syy pintalämpötilan yliennustamiseen ei arvioni mukaan johdu virtaustilanteen väärästä ennustamisesta, vaan mallin tavasta käsitellä pintalämpötilaa. Erittäin stabiileissa olosuhteissa oletukset, joiden perusteella mallin pintalämpötila lasketaan, eivät tuota järkevää tulosta. Luotauksista havaitaan, että Sodankylässä vallitsi voimakas pintainversio, jota malli ei kykene täysin mallintamaan johtuen tavasta, jolla se käsittelee pinnan ja alimman mallitason välistä kerrosta. Ennustettu lämpötila poikkeaa toteutuneesta kuitenkin niin voimakkaasti, että inversion mallintamiseen liittyvät ongelmat eivät välttämättä ole ainoa virhelähde.</p> <p>Lopuksi tarkastelen lyhyesti raportteja mallin ongelmista ennustaa pintalämpötilaa Suomen talviolosuhteissa, sekä miten Euroopan keskipitkien säähavaintojen keskus on itse käsitellyt ongelmaa. Globaalimallina IFS on kalibroitu tuottamaan keskimäärin osuvin ennuste koko planeetalla, ja on tärkeä tietää ne rajatapaukset, joissa sen oletukset eivät ole päteviä.</p>			
Avainsanat – Nyckelord IFS, lämpötilainversio, mallivirhe, rajakerros, tapaustutkimus			
Keywords Boundary Layer, case study, IFS, model error, temperature inversion			
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited			
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional informa			

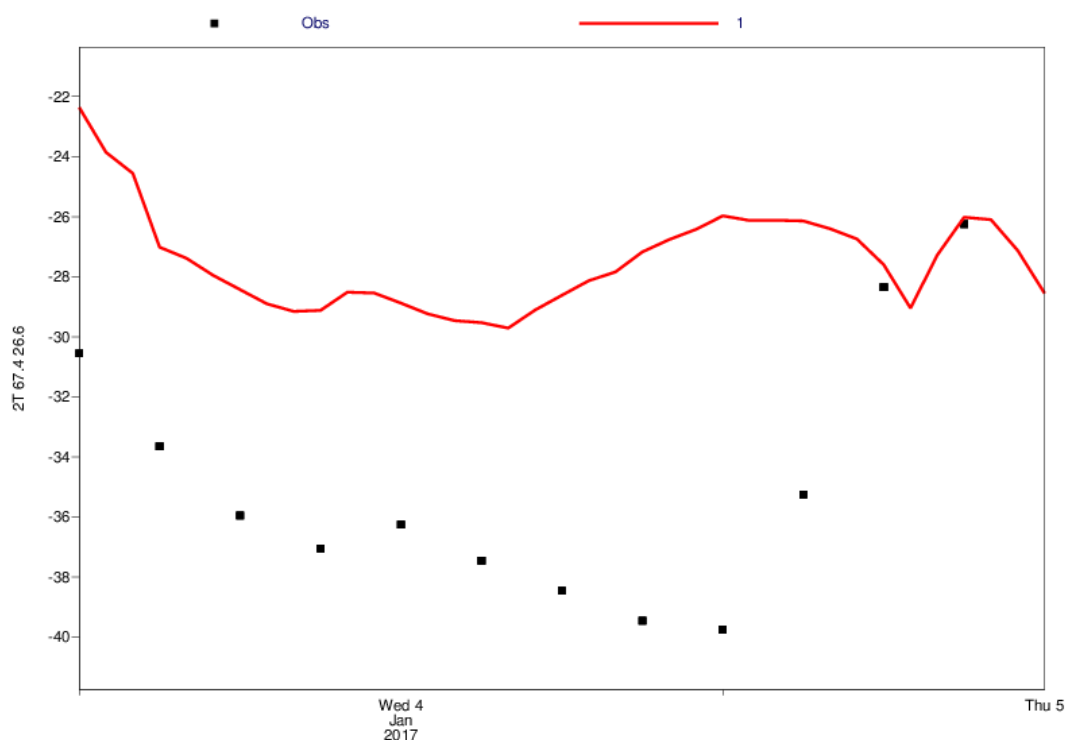
Sisällys

1 JOHDANTO.....	3
2 TEORIA.....	5
2.1 Numeerinen säännennustus.....	5
2.2 IFS.....	5
2.3 Metview.....	8
3 TILANTEEN KUVAUS.....	9
4 TULOKSET.....	15
4.1 Paine.....	15
4.2 Lämpötila.....	19
4.3 Inversio.....	23
4.4 Muita huomioita.....	25
5 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	27
6 POHDINTAA.....	30
LÄHTEET.....	31

1 Johdanto

Moderni säänennustaminen perustuu numeerisiin säämalleihin. Mallien tarkkuus ja luotettavuus eri tilanteissa ovat jatkuvan tarkastelun kohteena. Epätarkkuuksien ilmetessä mallidataa verrataan analyysihin ja pyritään löytämään virhelähde. Virheet voivat olla hetkellisiä tai systemaattisia ja johtua esimerkiksi väärästä dynamiikasta, heikkouksista hilaruutua pienempien ilmiöiden parametrisoinnissa tai huonoista havainnoista.

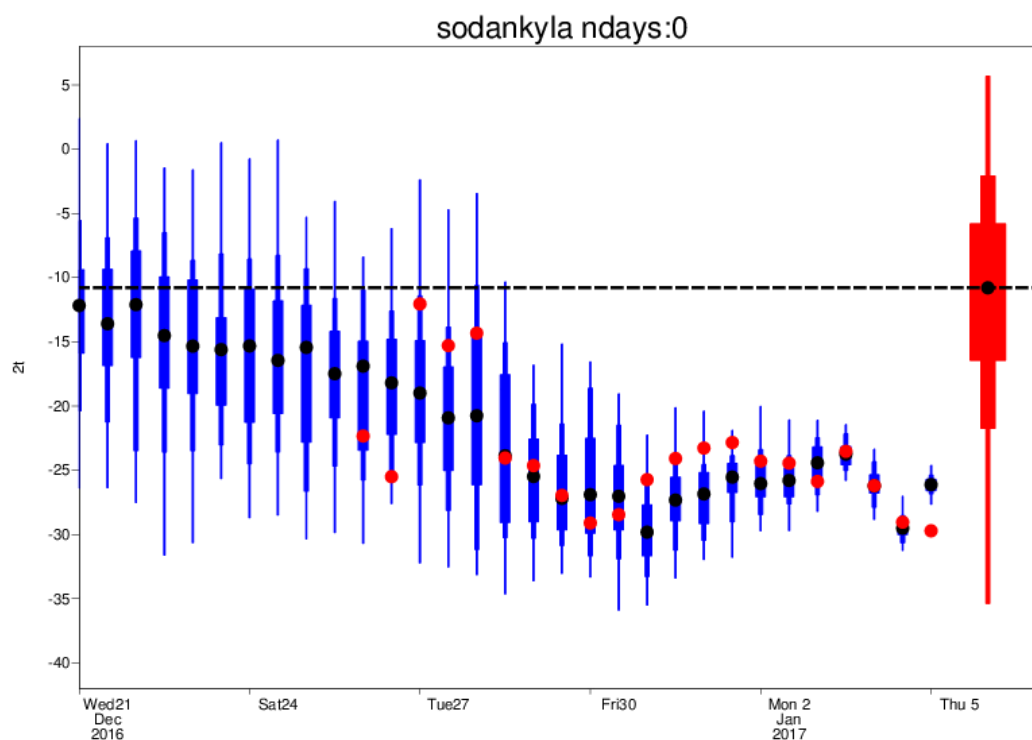
Vuoden 2017 alussa Pohjois-Suomessa vallitsi kylmä jakso, ja pintalämpötilat Sodankylässä pysyttelivät kolmenkymmenen pakkasasteen alapuolella. Euroopan keskipitkien säänennusteiden keskuksen (ECMWF) globaalimalli IFS:n (Integrated Forecast System) ennusteen pintalämpötila oli kuitenkin toistakymmentä astetta lämpimämpi kuin havaittu (kuva 1).



Kuva 1 HRES-ennuste (punainen) ja havaittu (musta) pintalämpötila Sodankylässä 4.1.2017 (ECMWF, 2017).

Tämän pro gradu-tutkielman tarkoitus on etsiä syy lämpötilan ennustevirheelle. Koska Pohjois-Euroopan kylmää jaksoa seurasi välittömästi vastaava jakso Etelä- ja Itä-Euroopassa, mihin liittyi myös tavallista runsaampia lumisateita, alustava hypoteesi on, että tilanteen dynamiikka oli vaikeasti ennustettavissa ja synoptisen skaalan virtaus olisi ennustettu väärin.

Tässä työssä analysoin synoptisen tilanteen ja mallin ennustamien suureiden kehittymistä tammikuun alun aikana Pohjois-Euroopassa, sekä tilannetta 4.1.2017 kun todellinen lämpötila poikkesi eniten ennustetusta. Deterministisen mallin lisäksi myöskään parviajo ei kyennyt ennustamaan todellista pintalämpötilaa kovin luotettavasti (kuva 2). Vaikka osa parven jäsenistä pääsi melko lähelle todellisuutta noin viikkoa ennen virhehuippua käynnistetyissä ajoissa (kuva 2), 30.12 jälkeiset ennusteet konvergoivat kohti liian korkeaa lämpötilaa.



Kuva 2 Parviennuste (sininen) sekä deterministinen ennuste (punainen piste) pintalämpötilalle sekä klimatologia (punainen) initialisaatioajankohdan mukaan Sodankylässä 4.1.2017. Havaittu lämpötila oli noin -41 °C. (ECMWF, 2017).

2 Teoria

2.1 Numeerinen säänennustus

Numeerinen säänennustus (NWP) on alkuarvotehtävä, jossa fysiikan yhtälöiden perusteella ilmakehän arvioidusta alkutilasta lasketaan sen tuleva tila.

Alkuarvotehtävänä säänennustuksen tarkkuus riippuu voimakkaasti ilmakehän tilan alkuperäisestä arviosta. Käytettävissä olevien tietokoneiden laskentateho rajoittaa mallin hilaväliä, eikä kaikkia ilmakehän ilmiöitä voida mallintaa dynaamisesti niiden pienen koon vuoksi. Mallin resoluutiolle liian pienet ilmiöt on parametrisoitava, ja lisäksi malleille on asetettava reunaehtoja, rajatun alueen malleilla kaikille rajoille ja globaalimalleille ala- ja ylärajoille (Savijärvi, 2010).

Ilmakehän kaoottisuudesta johtuen mallien ennustetarkkuus laskee nopeasti ajan kuluessa. Virheet alkuarviossa moninkertaistuvat ajan kuluessa, ja tästä syystä on tärkeää saada mahdollisimman tarkka kuva lähtötilanteesta. Jotta malli säilyttää yhteyden todelliseen ilmakehän tilaan, uusi malliajo aloitetaan tasaisin väliajoin, useimmiten 12 tunnin välein, ja tämän hetken havaintojen lisäksi edellistä malliajoa käytetään lähtötilanteen määrittämisessä.

Jotta ennuste saadaan pidettyä reaaliaikaisena, on fysikaalisista yhtälöistä usein käytettävä yksinkertaistettuja muotoja. Mikäli näissä laskennallisissa yksinkertaistuksissa on ongelmia, niiden vaikutus kertaantuu mallissa. Synoptisia ennustemalleja kehitetään niiden ennustetarkkuuden pohjalta, joten oletukset ovat kompromissi hyvän ennustetuloksen, laskentanopeuden ja tarkan fysikaalisuuden välillä.

2.2 IFS

IFS on Euroopan keskipitkien säänennusteiden keskuksen (European Centre for Medium-range Weather Forecasts; ECMWF) ylläpitämä ja kehittämä globaali spektraalimalli. Tarkastelujaksolla vuodenvaihteessa 2016-2017 oli käytössä mallin versionumero 43r1, joka on otettu operatiiviseen käyttöön 22.11.2016

(ECMWF, 2016a). Malli käyttää kahdeksankulmaisesti rajoitettua gaussilaista hilaa, joka vähentää hilapisteiden määrää leveysasteella napoja kohti siirryttäessä laskentatehon säästämiseksi, ja jotta hilapisteiden etäisyys säilyisi vakiona. Korkearesoluutioisen deterministisen ajon (HRES) horisontaaliresoluutio on hilaväleiksi muunnettuna noin 9 km ja pystytasojen määrä on 137. Parviajossa (ENS) horisontaaliresoluutiota lasketaan niin, että se on 15 päivän ennustejaksolla 18 km ja siitä eteenpäin 36 km. Pystytasojen määrä on 91 (ECMWF 2016a).

IFS tukee neliulotteista variationaalista data-assimilaatiota (4D-var) sekä HRES että ENS ajoilla. Mallille syötetään 4D-varissa havaintoja tietyssä aikaikkunassa ja malli laskee iteratiivisesti itselleen lähtötilan (ECMWF, 2016c). Tässä työssä keskitytään HRES ajoihin, jotka on käynnistetty 30.12.2016 00UTC ja 1.1.2017 00UTC, eli kuusi ja neljä päivää ennen Sodankylän lämpötilan virhehuippua. Tarkasteltavat suureet ovat pintapaine (MSLP) ja kahden metrin lämpötila (2T), joita verrataan havaintoihin.

2.2.1 Kahden metrin lämpötila

Kahden metrin lämpötila ei ole IFS:ssä dynaaminen suure, vaan se on johdettu reunaehdoista post-prosessoinnissa (ECMWF, 2016b). Mallin alin pystytaso on noin kymmenen metrin korkeudessa ja sen alapuolella olevat suureet on parametrisoitu. Suureet pyritään pitämään jatkuvina pinnasta alimmalle mallitasolle pintakerrosoletuksilla. IFS määrittelee turbulenttiset liikemäärän, lämmön ja kosteuden vuot rajakerroksessa kyseisten suureiden erotuksena pinnan ja alimman mallitason välillä.

IFS käyttää Monin–Obukhov samankaltaisuusteoriaa ja määrittelee pintakerroksen suureiden gradienttifunktiot suhteessa stabiilisuusparametrin empiirisesti määritettyyn gradienttifunktioon Φ (2.1),

$$\frac{kz}{u_*} \frac{\partial u}{\partial z} = \Phi_M\left(\frac{z}{L}\right)$$

$$\frac{kz}{s_*} \frac{\partial s}{\partial z} = \Phi_H\left(\frac{z}{L}\right) \quad (2.1)$$

$$\frac{kz}{q_*} \frac{\partial q}{\partial z} = \Phi_Q \left(\frac{z}{L} \right)$$

missä k Von Karmanin vakio, z kerroksen paksuus, u_* , s_* ja q_* ovat tuulen, kuiva-adiabaattisen energian sekä kosteuden skaalausparametrejä, jotka on määritelty kyseisten suureiden pintavuoina J_Φ (2.2).

$$\begin{aligned} \rho u_*^2 &= J_M \\ \rho u_* s_* &= J_s \\ \rho u_* q_* &= J_q \end{aligned} \quad (2.2)$$

ρ on ilman tiheys ja stabiilisuusparametrin L on Obukhovin pituus (2.2.3)

$$L = -u_*^3 / \left(\frac{\kappa g}{T_n} Q_{0v} \right) \quad (2.3)$$

missä g on putoamiskiihtyvyys, T_n on referenssilämpötila alimmalta mallitasolta ja Q_{0v} on virtuaalilämpötilan vuo pintakerroksessa. Koska Obukhovin matka on itsessään pintavuon funktio, se lasketaan numeerisesti bulk-Richardsonin luvun ja edellisen aika-askeleen ratkaistujen vuoyhtälöiden avulla.

Vuot voidaan integroida suureiden pintaprofiileiksi (2.4).

$$\begin{aligned} s - s_{surf} &= \frac{J_s}{\kappa \rho u_*} \left[\log \left(\frac{z_n + z_{0M}}{z_{0H}} \right) - \Psi_H \left(\frac{z_n + z_{0M}}{L} \right) + \Psi_H \left(\frac{z_{0H}}{L} \right) \right] \\ q - q_{surf} &= \frac{J_q}{\kappa \rho u_*} \left[\log \left(\frac{z_n + z_{0M}}{z_{0Q}} \right) - \Psi_H \left(\frac{z_n + z_{0M}}{L} \right) + \Psi_H \left(\frac{z_{0Q}}{L} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

Esimerkkinä kuiva-adiabaattinen energian s ja kosteuden q profiilit, joita käytetään lämpötilan ja kastepisteen määrittämisessä interpoloimolla pinnan ja alimman mallikerroksen välillä. Z_n on alimman mallikerroksen korkeus, Z_{0M} , Z_{0H}

ja Z_{0Q} ovat liikemäärän, lämmön ja kosteuden rosoisuusparametreja Ψ -funktiot saadaan Φ -funktioista yhteydellä (2.5).

$$\Phi = 1 - \zeta \left(\frac{\partial \Psi}{\partial \zeta} \right) \quad (2.5)$$

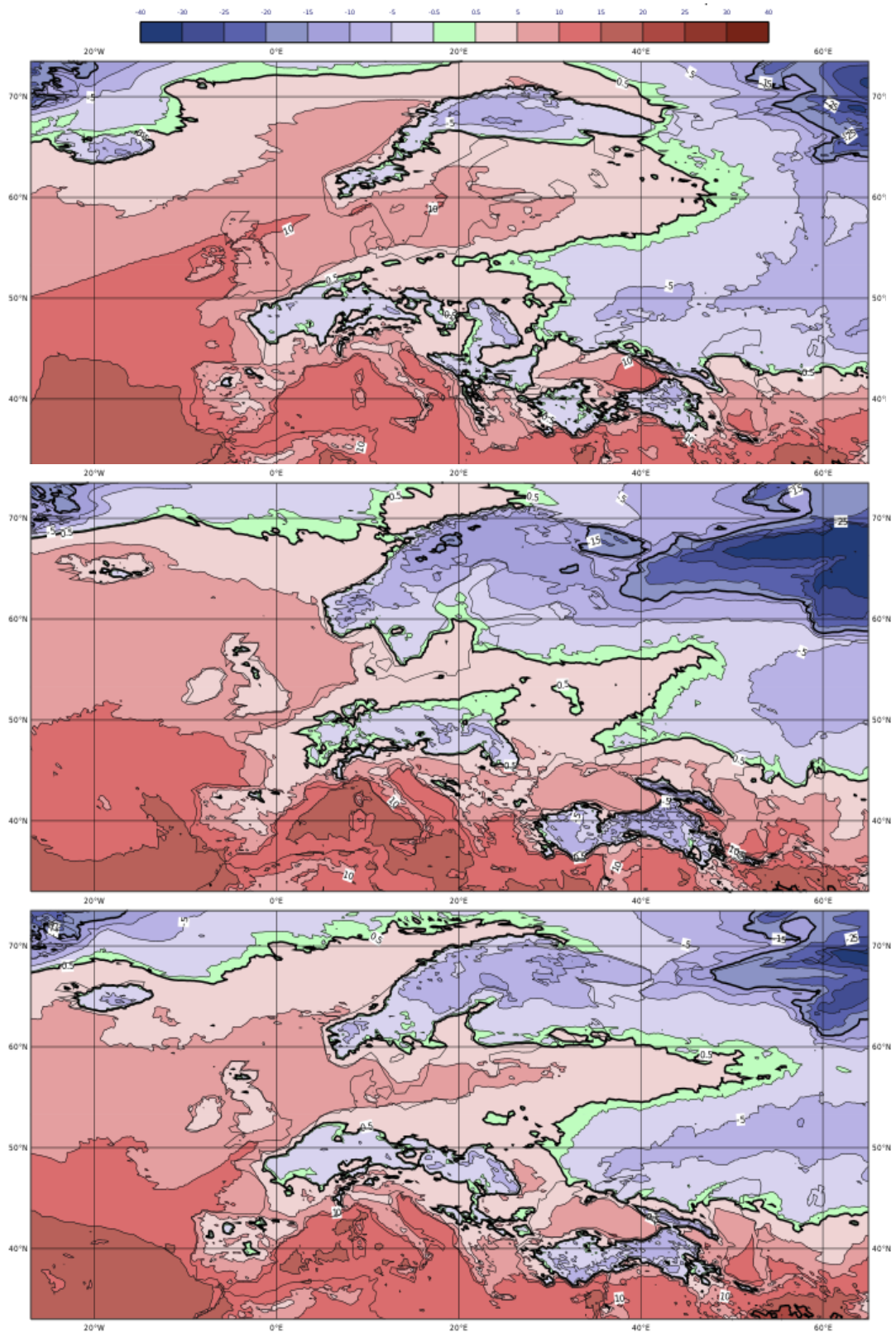
Stabilisuusparametri saa positiivisen arvon stabiilissa tilanteessa ja negatiivisen arvon epästabiilissa tilanteessa. Parametrin suuruus kertoo, dominoiko turbulentin kineettisen energian (TKE) muodostusta tuuliväanne vai noste, pienillä arvoilla noste dominoi.

Erittäin stabiilissa tilanteessa pienellä positiivisella L :n arvolla pintakerroksen paksuuden z ja Obukhovin pituuden L :n suhteesta $\frac{z}{L}$ muodostuu hyvin suuri, mikä tuottaa mallissa epärealistisen pintakerrosprofiilin. Tästä syystä suhteen suuruus on rajattu siten että erittäin heikkotuulisissa tilanteissa z korvataan korkeudella h , joka tuottaa suhteeksi viisi. Mikäli kerroksen paksuus on suurempi kuin z , käytetään normaaleja funktioita korkeudelle z asti, minkä jälkeen suhde $\frac{z}{L}$ määrätään viideksi (ECMWF, 2016b). Tästä syystä esimerkiksi hyvin voimakkaassa inversiotilanteessa pintakerrosoletukset tasoittavat inversioita ja vääristävät pintalämpötilaa (ECMWF, 2019).

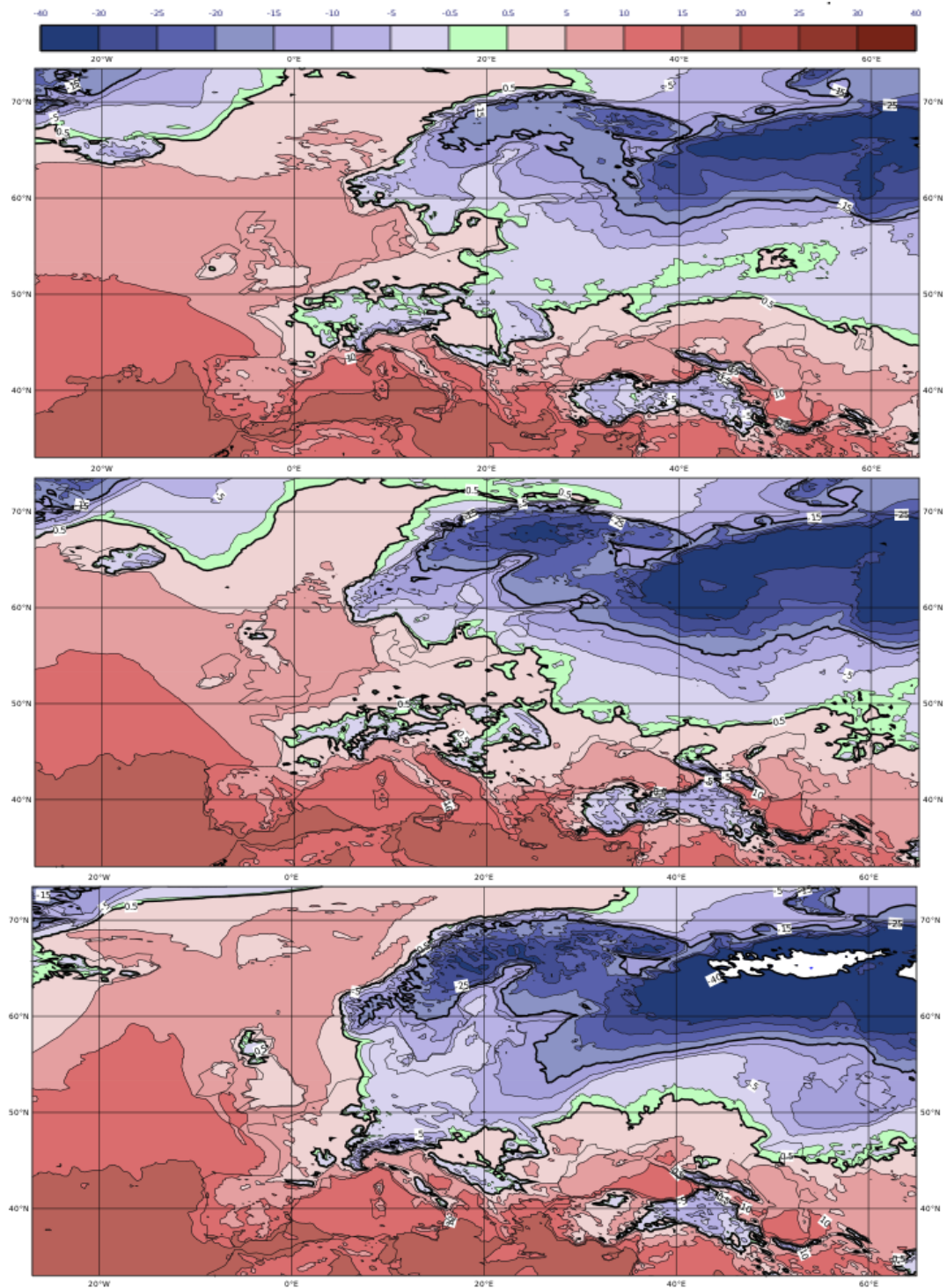
2.3 Metview

Analyysi on tehty käyttäen ECMWF:n Metview ohjelmistoa. Metview on graafinen ympäristö ECMWF:n datan visualisointiin ja käsittelyyn. Metview on avoimen lähdekoodin ohjelmisto ja se on operatiivisessa käytössä ECMWF:ssä. Mallidatan formaattina on grib-tiedostomuoto ja kuvat ja analyysi ovat tehty käyttäen Metviewin makrokieltä.

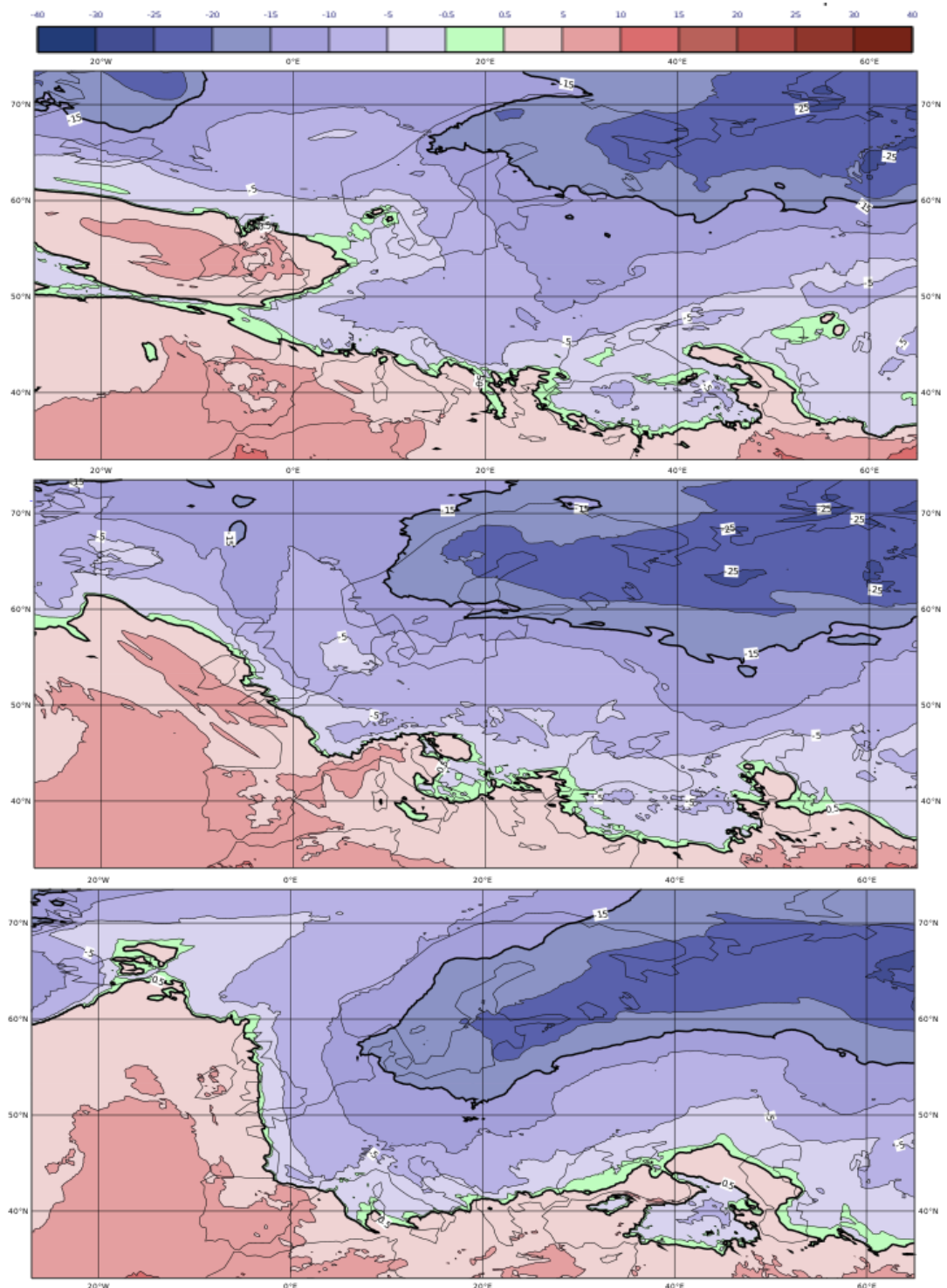
3 Tilanteen kuvaus



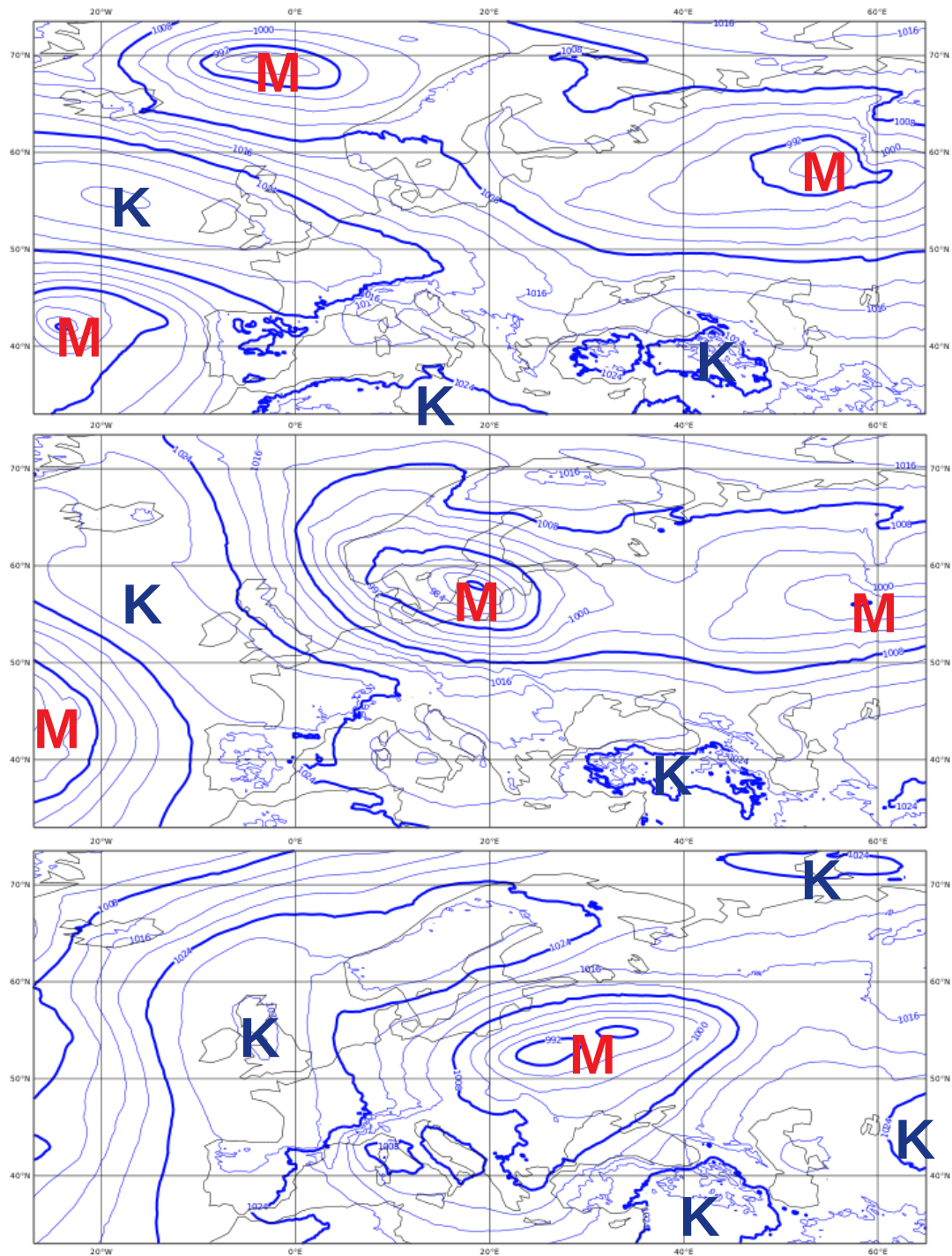
Kuva 3 Kahden metrin lämpötilan kehitys Euroopassa 31.12.2016 12UTC - 2.1.2017 12UTC. Nollaraja vihreällä, lämpötila viiden astein välein. Analyysi.



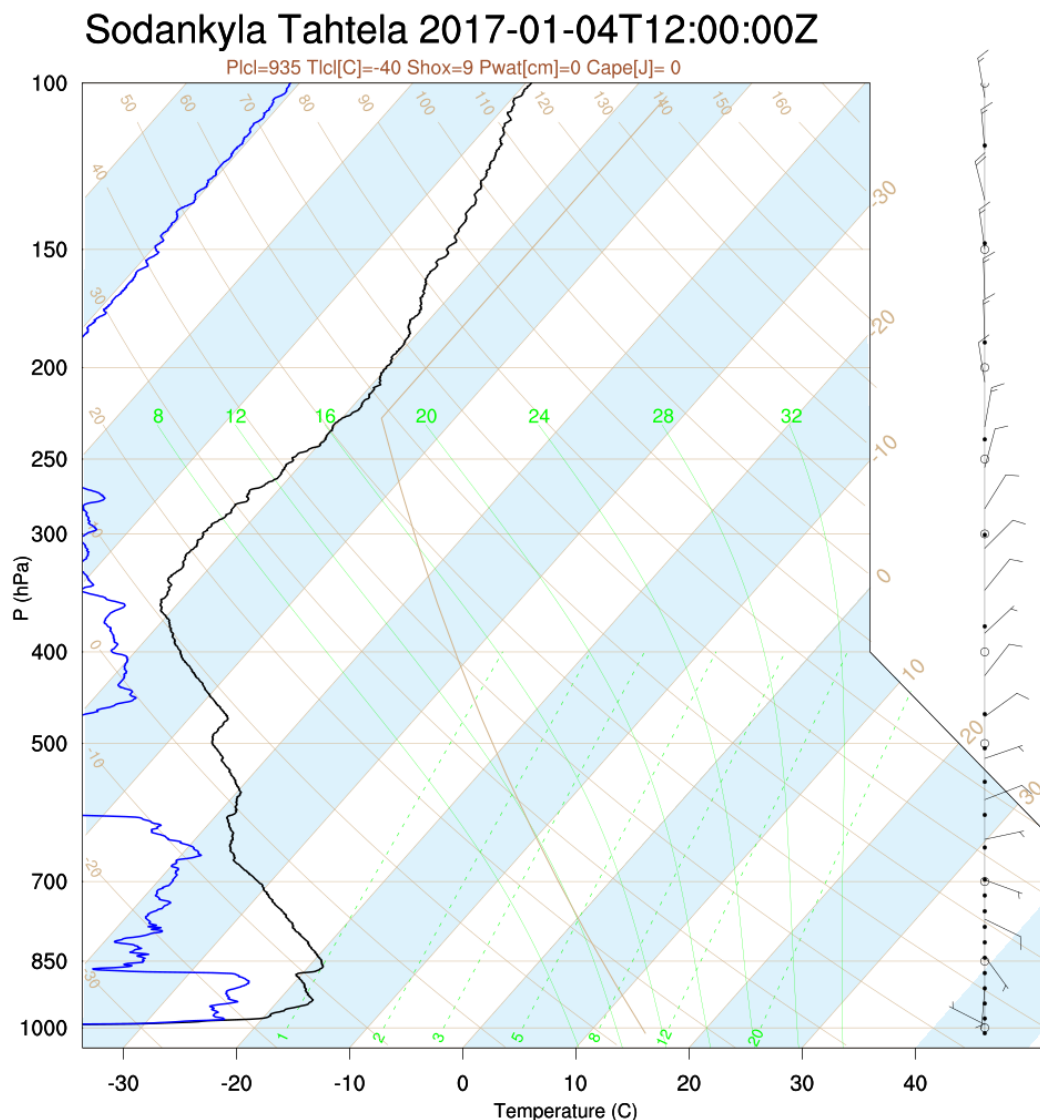
Kuva 4 Kahden metrin lämpötilan kehitys Euroopassa 3.1.2017 12UTC - 5.1.2017 12UTC. Nollaraja vihreällä, lämpötila viiden astein välein. Analyysi. Siperian valkoinen alue 5.1.2017 12 UTC merkitsee alle -40 asteen pakkasta.



Kuva 5 Lämpötilan kehitys Euroopassa 3.1.2017 12UTC - 5.1.2017 12UTC painepinnalla 850 hPA. Nollaraja vihreällä, lämpötila viiden astein välein. Analyysi.



Kuva 6 Pintapaineen kehitys Euroopassa 3.1.2017-5.1.2017 00UTC, analyysi. Isoviivat 4 hPa:n välein. Lihavoitu isoviiva 1008 hPa:ssa ja edelleen 16 hPa:n välein sen molemmin puolin, matala- ja korkeapaineen keskukset merkitty symbolein.



Kuva 7 Luotaus Sodankylästä 4.1 00UTC Kastepiste sinisellä, lämpötila mustalla.

Vuodenvaihteessa 2016 - 2017 Pohjois-Euroopassa vallitsi epävakaata säätyyppi, jossa Pohjois-Atlantilla syntyvät matalapaineet vaelsivat itään tuoden mukanaan säärintamia. Lämpötilat Euroopassa olivat vuodenajalle tyypilliset. Suomessa alkutalvi oli ollut selvästi keskimääräistä lämpimämpi (FMI 2017), mutta sää alkoi viiletä vuodenvaihteen jälkeen. Siperiassa ja Koillisväylällä vallitsi kylmä ilmassa, kun taas keskisellä Atlantilla ja Välimeren länsiosissa oli lämmintä ilmaa (kuvat 3, 4 ja 5).

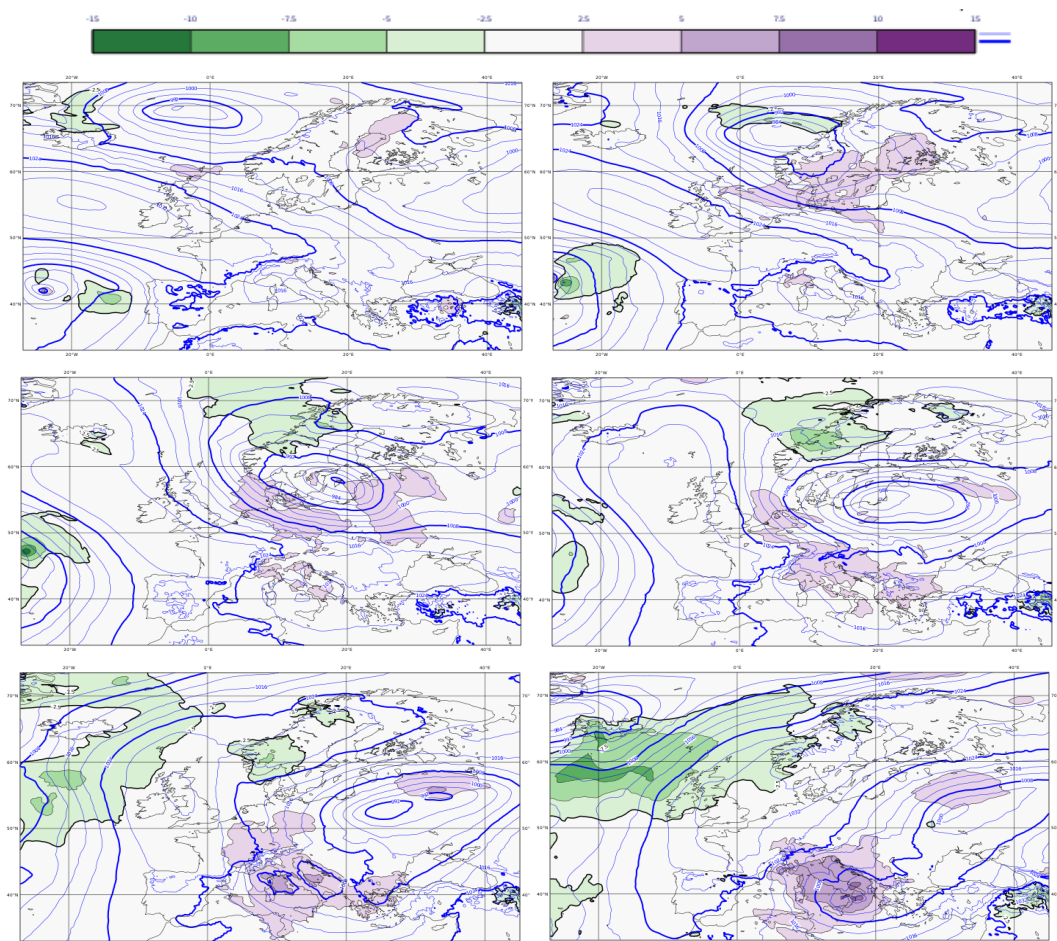
Tammikuun alussa 2017 Islannin pohjoispuolella syntyi matalapaine, joka lähti välittömästi liikumaan itään. Tammikuun kolmannen ja neljännen päivän aikana

sen keskus liikkui Etelä-Norjan yli Puolaan ja Baltiaan ja siitä edelleen itään vähitellen täyttyen (kuva 6). Kuolan niemimaan pohjoisosassa vaikuttanut korkeapaine käänsi lännestä lähestyvän matalapainejärjestelmän kaakkoon Norjan rannikolla, eivätkä siihen liittyneet säärintamat vaikuttaneet Suomen Lappiin jakson aikana. Samoihin aikoihin Pohjois-Venäjän kylmä ilmamassa purkautui länteen Kuolan niemimaan kohdalla (kuvat 4 ja 5). Sekä Suomen että Ruotsin Lapissa koettiin yli kolmenkymmen asteen pakkasia tammikuun kolmannelta kuudenteen päivään, pakkashuippujen ollessa yli neljäkymmentä pakkasastetta. Kylmä ilmamassa kulkeutui Suomen itäpuolelta 6. - 9.1 aikana Bulgariaan ja Kreikkaan, missä koettiin voimakkaita pakkasia ja runsaita lumisateita.

Pohjois-Suomessa vallitsi tarkastelujaksolla 1004-1016 hPa:n pintapaine ja korkeapainetilanteelle tyypillisesti pilvisyys Pohjois-Suomessa oli vähäistä (kuva 6 ja 7) ja tuuli heikko. Kaamos Pohjois-Lapissa oli loppuillaan, mutta säteilylämmitys oli edelleen hyvin vähäistä, joten vuorokaudenajasta johtuvaa vaihtelua ei juuri esiinny. Lämpötilan nousun on siis johduttava lämpimästä advektiosta. Vähätuulinen sää oli otollinen pinta-inversioille, jollainen on hyvin näkyvä myös Sodankylän luotauksessa (kuva 7).

4 Tulokset

4.1 Paine

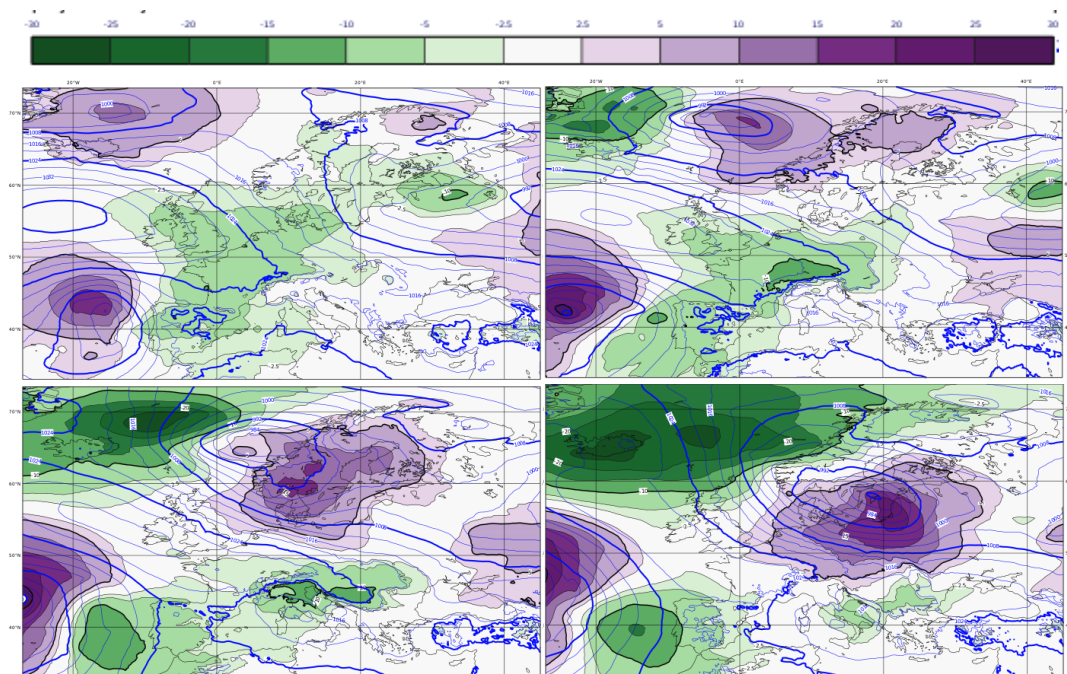


Kuva 8 1.1.2017 initialisoidun HRES-ajon ja analyysin pintapaineiden erotus päiviltä 3.1.-5.1. ajanhetkiltä 00 ja 12 UTC. Päivät riveittäin, ensimmäinen pystysarake 00 UTC toinen 12 UTC. Erotus 2.5 hPa:n välein lukuunottamatta väleillä -10 ja -2.5 hPa sekä 2.5 ja 10 hPa, muuten väli on 5 hPa. Pintapaineen analyysi sinisellä 4 hPa:n välein, lihavoitu isoviiva 1008 hPa:n kohdalla siitä edelleen 16 hPa:n välein molemmin puolin.

Tutkimuksessa tarkasteltiin synoptisen tilanteen kehittymistä ja pyrittiin etsimään eroja malliajon ja todellisuuden välillä. Pohjois-Euroopassa 2.1-6.1. vaikuttanut pintamatala näkyy hyvin sekä 30.12.2016 että 1.1.2017 käynnistetyissä HRES ajoissa, ja sen reitti vastaa melko hyvin havaintoja. Muutaman ensimmäisen päivän aikana 1.1. initialisoidun ajon ennustettu pintapaine ei merkittävästi poikkea analysoidusta, mutta 3.1. eroja alkaa jo ilmetä (kuva 8). Malliajo on hieman myöhässä todellisuutta ja venyttää

matalapainetta pohjoiseen. Malli antaa 3.1. 12 UTC:sta tarkastelujakson loppuun matalapaineen keskuksen pohjoispuolelle Fennoskandiaan 2,5-7,5 hPa liian matalia arvoja, ja vastaavasti itä-kaakkoon kulkevan matalapaineen keskuksen etupuolelle noin 5 hPa liian korkeita painelukemia. Malli myös aliarvioi matalapaineen leviämistä lounaaseen sen saavuttua Manner-Eurooppaan, ja tämä virhe voimistuu ajan kuluessa.

Tarkastelualueen ulkopuolella pintapaineen ennuste pitää hyvin paikkansa. Tarkasteltavan Pohjois-Atlantin matalapainejärjestelmän lisäksi etelämpänä Atlantilla olevan matalapaineen vaikutus yltää Portugaliin, mutta tämä matalapaine poistuu nopeasti etelä-lounaaseen. Korkeapaineen alueella paine-ennusteissa ei juuri ole eroa mallin ja analyysin välillä. Jakson lopulla Islannin seudulle alkaa syntyä uusi matalapaineen keskus, jonka mallikin havaitsee, joskin keskuksen sijainti on liian eteläinen.

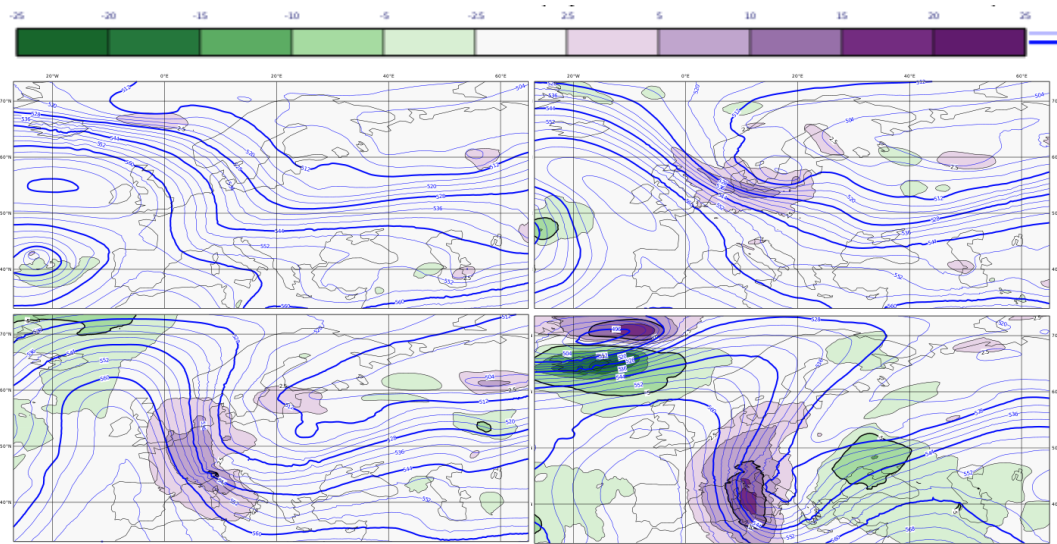


Kuva 9 30.12.2016 initialisoidun HRES-ajon ja analyysin pintapaineiden erotus 12 tunnin välein 2.1 12UTC - 4.1 00UTC järjestyksessä vasemmalta oikealle. Erotus viiden hPa:n välein lukuunottamatta välejä -5, -2.5 ja 2.5 ja 5. Pintapaineen analyysi sinisellä 4 hPa:n välein, lihavoitu isoviiva 1008 hPa:n kohdalla siitä edelleen 16 hPa:n välein molemmin puolin.

Ajo, joka on initialisoitu 30.12., (kuva 9) vastaa jossain määrin 1.1- ajoa mutta erot mallin ja analyysin välillä ovat suurempia ja ilmenevät aikaisemmin.

Matalapaineen reitti on sama molemmissa ajoissa, mutta keskuksen eteneminen 30.12. ajossa on merkittävästi hitaampaa. Korkeapaineen alueella eroja ei juuri ole, mutta eteläisen matalapaineen keskuksen sijainti on aikaisemmalla malliajolla selvästi liian läntinen.

Vaikka pintapaineissa voidaan havaita eroja mallin ja analyysin välillä, ne eivät ole riittävän suuria muuttaakseen koko virtaustilannetta toisenlaiseksi. Sekä mallissa että havainnoissa matalapaineen keskus on 4.1. 00 UTC eteläisellä Itämerellä ja Lapissa vallitsee korkeapaine. Heikko virtaus Pohjois-Suomen yllä kulkee edelleen idästä länteen. Lisäksi on huomioitavaa, että tarkasteltavana oleva tammikuun alussa Islannin pohjoispuolella syntynyt matalapaine alkoi nopeasti täytyä saavuttuaan Manner-Eurooppaan 4.1., ja 5.1. keskusta on vaikea paikantaa Baltian ylle. Ei ole järkevää olettaa, että kyseisen matalapaineen säärintamat olisivat olleet pääasiallisena syynä, tai edes merkittävänä osana, Kaakkois-Euroopan kylmyyteen ja voimakkaisiin lumisateisiin 6. - 9.1.2017.



Kuva 10 1.1. initialisoidun HRES-ajon ja analyysin painedifferenssi 500hPa geopotentialkorkeudella päiviltä 3.1.-6.1. 00UTC, järjestys vasemmalta oikealle. Erotus viiden yksikön välein lukuunottamatta välejä -5, -2.5 ja 2.5 ja 5. 500 hPa:n geopotentialkorkeuden analyysi sinisellä 4 yksikön välein, lihavoitu isoviiva 528 geopotentialmetrin korkeudella siitä edelleen molemmin puolin 16 yksikön välein.

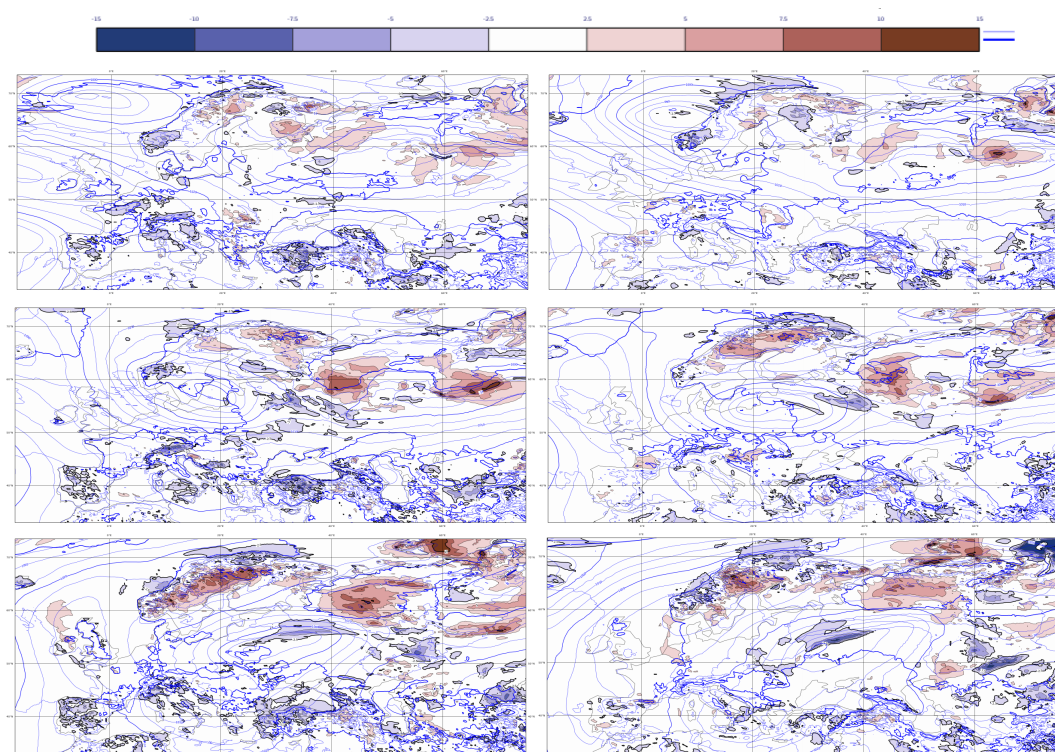
Geopotentialkorkeudella 500 hPa ennuste vastaa yleiseltä virtaustilanteeltaan melko hyvin analyysiä (kuva 10). Yläsola ei pääse työntymään aivan yhtä

pitkälle lounaaseen, mutta Skandinaviassa geopotentialieroa ei ole. Etelä-Euroopassa sekä Islannin alueella ero on kylläkin huomattava, koska malli ennustaa yläsolan kärkeen korkeampaa geopotentialia kuin mikä siellä analyysin perusteella vallitsi, mikä siirtää solan kärkeä muutamilla sadoilla kilometreillä. Voimakkain gradientti on silti ennustettu samalle alueelle, missä se myös analyysin mukaan ilmeni.

Kokonaisuudessaan paine-ennusteet ovat osuneet melko hyvin kohdalleen. Pinnassa eroja on laajemmilla alueilla, matalapaineen keskus etenee ennusteessa hieman todellisuutta hitaammin ja myös täyttyy hieman eri tavalla kuin todellisuudessa kävi. Kuitenkin sen reitti on pitkälti sama ja sijainnin virhe lasketaan ennemminkin sadoissa kuin tuhansissa kilometreissä. Vapaassa ilmakehässä paine-ennuste vastaa analyysiä paljon paremmin ja dislokaatiota esiintyy vain voimakkaan gradientin alueella Keski-Euroopassa, sekä syklogeneesiin liittyen Islannin pohjoispuolella. On huomionarvoista, että Portugalin rannikolla olleeseen matalapaineeseen ei liity mallin ja analyysin välistä ristiriitaa yläkentässä, vaikkakin pintapaineessa eroja esiintyi.

Koska malli ja analyysi eivät eroa painekenttien osalta merkittävästi toisistaan, ei ole järkevää olettaa, että virtaustilanne olisi syy Sodankylän lämpötilan yliennustamiseen. Virheet lisääntyvät ennusteajan pidentyessä, mutta tämä on täysin odotettavissa. Huomio kiinnittyy enemmänkin siihen, kuinka tarkkoja paine-ennusteet lopulta olivat.

4.2 Lämpötila



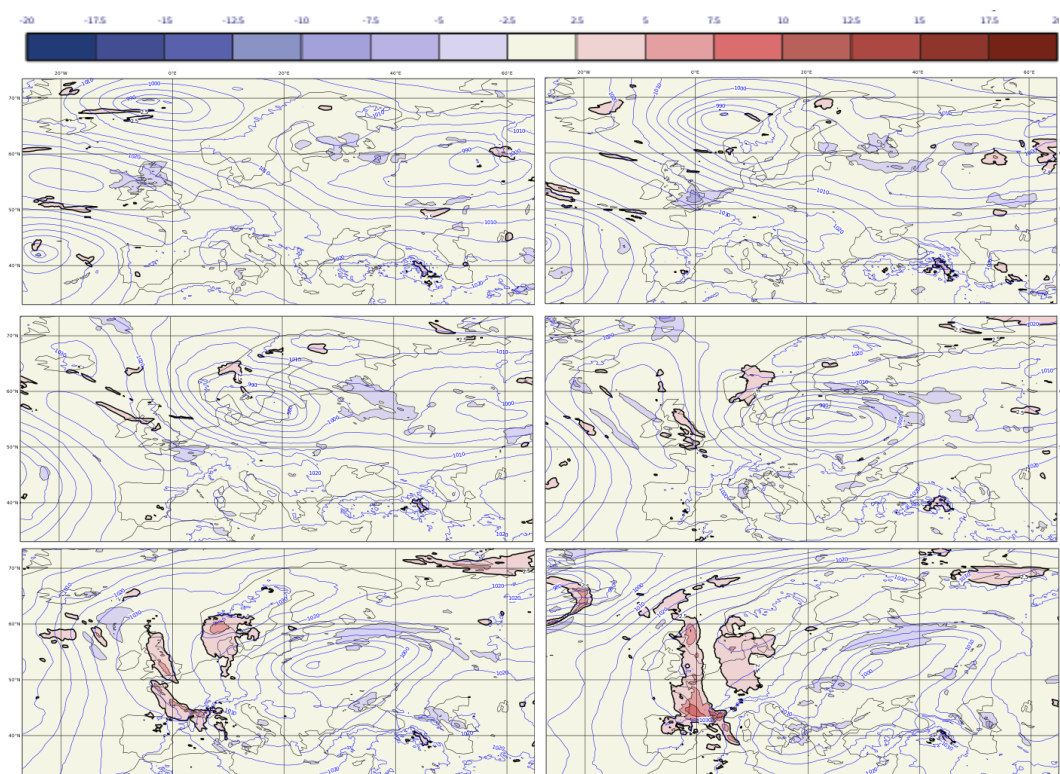
Kuva 11 1.1. initialisoidun HRES-ajon ja analyysin 2-metrin lämpötilojen erotus päiviltä 3.1.-5.1. ajanhetkiltä 00 ja 12 UTC. Päivät riveittäin, 00UTC ensimmäinen pystysarake, 12UTC toinen pystysarake. Dynaaminen asteikko, välit -10:stä -2,5 sekä 2.5:sta – 10 astetta 2.5 asteen välein, muuten viiden asteen väli. Pintapaineen analyysi sinisellä 5 hPa:n välein, lihavoitu isoviiva 1000 hPa:n kohdalla siitä edelleen 20 hPa:n välein molemmin puolin.

Pintalämpötilaeroja tarkastellessa huomataan, että malli ennustaa laajalti liian korkeita pintalämpötiloja Siperiaan, Pohjois-Venäjälle, Lappiin sekä erityisesti Skandeille ja melko yleisesti liian matalia pintalämpötiloja Pohjois-Norjan rannikolle ja yleisemmin Etelä-Eurooppaan, Anatoliaan ja edelleen Aasiaan (kuva 11). Lämpötilan ennustamisessa on myös paikoin vuorokauden ajasta riippuvaa vaihtelua. Pyreneiden niemimaalla yölämpötila on ennusteessa jatkuvasti muutamia asteita liian matala, mutta virhe korjaantuu päivällä. Samankaltaista syklistä vaihtelua esiintyy myös Kreikassa, joskin aliennustaminen ei siellä täysin katoa päivän aikana.

Virhe lämpötilaennusteessa kehittyy ja poistuu Pohjois-Suomesta varsin nopeasti 3.1. aikana. Yliennustetun lämpötilan alue syntyy Kuolan niemimaalla

ja leviää länteen Lapin yli samalla voimistuen ja siitä edelleen Skandeille. Yhtä nopeasti kuin se syntyy ja leviää, lämpimän ennusteen alue vetäytyy sekä etelästä että idästä jääden lopulta Pohjois-Skandeille. Samaan aikaan laajenevan liian lämpimän alueen eteläpuolella muodostuu muutamia asteita liian kylmän ilman alue, joka kuitenkin poistuu vielä nopeammin kuin lämmin alue 4.1. aikana.

Merialueiden pintalämpötilaa malli ennustaa pääosin erittäin hyvin itäistä Välimerta lukuunottamatta. Pohjois-Venäjän laaja yliennustaminen rajoittuu aluksi mantereelle, kun taas Koillisväylällä virhettä mallin ja analyysin välillä ei juuri ole ennen 4.1 00UTC. Tämän jälkeen malli alkaa eroamaan analyysistä voimakkaasti ennustaen liian korkeaa lämpötilaa ja 5.1. alkaen idästä leviää liian kylmä ilmaa. Virhe on merkittävästi erilainen kuin etelässä tasaisesti koko tarkastelujakson ajan esiintyvä osin syklinen aliennustaminen.

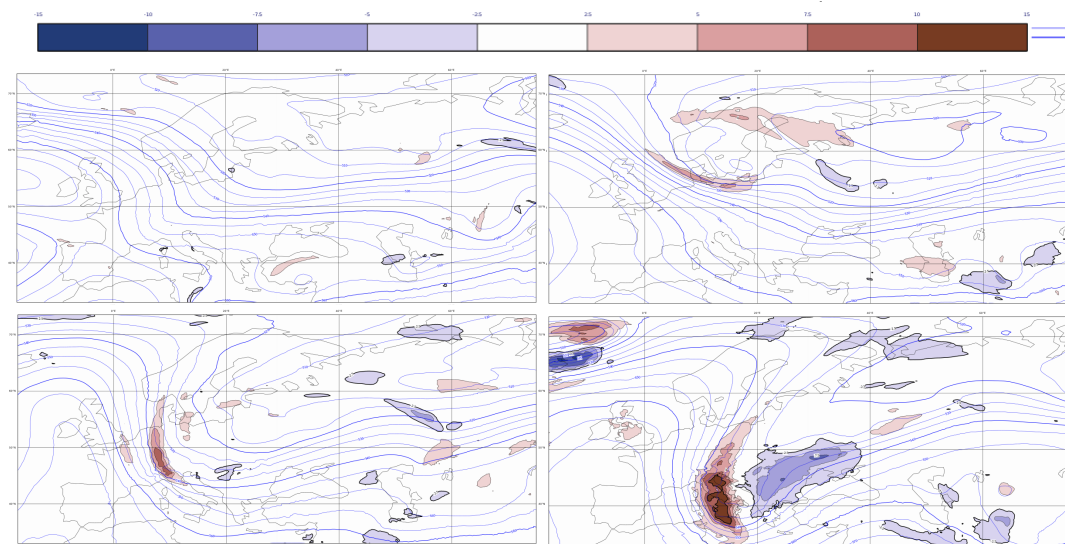


Kuva 12 1.1. initialisoidun HRES-ajon ja analyysin 850 hPa:n lämpötilojen erotus päiviltä 3.1.-5.1. ajanhetkiltä 00 ja 12 UTC. Päivät riveittäin, 00UTC ensimmäinen pystysarake, 12 UTC toinen pystysarake. Asteikko 2.5 asteen välein, lukuunottamatta väliä -2,5 – 2,5. Pintapaineen analyysi sinisellä 5 hPa:n välein.

Siirryttäessä pinnasta 850 hPa:n korkeudelle, ja varsinaisen mallidynamiikan piirin, ennuste ja analyysi vastaavat huomattavasti paremmin toisiaan (kuva 12). Paikallisia virheitä syntyy edelleen 3.1. alkaen mutta samanlaista laaja-alaista yli- tai aliennustamista ei ole näkyvissä. Siperiassa näkyy edelleen hieman yliennustamista, ensin mantereella ja myöhemmin pohjoisrannikolla, mutta ongelma ei ole lähellekään yhtä yleinen kuin pintalämpötilan kohdalla. Lapissa yliennustamista ei esiinny lainkaan ja pintaennusteessa Skandinavian yllä ollut liian lämmin ilma ei ole keskittynyt Skandien ylle, vaan leviää Keski-Norjasta ja -Ruotsista etelään kohti Tanskaa. Myöskään Espanjan ja Kreikan yöllisten pintalämpötilojen aliennustamista ei näy lainkaan 850 hPa:n lämpötiloissa.

850 hPa:n korkeudella lämpötilaeroa ennusteen ja analyysin välille syntyy melko selvärajaisella alueella Britannia Ranskaan. Virhe ennusteessa alkaa kehittyä 4.1. aikana ja leviää tasaisesti sekä pohjoiseen että etelään. Tätä aluetta ei näy pinta-ennusteessa. Pinta- ja 850 hPa:n ennusteiden suurin yhteinen virhe on Suomen etelä- ja kaakkoispuolella oleva melko selvärajainen liian viileän ilman alue. Virhe on pinta-ennusteessa voimakkaampi, mutta alue on muodoltaan, sijainniltaan ja ajankohdaltaan hyvin samankaltainen sekä pinnassa että 850 hPa:n korkeudella.

Korkeudella 500 hPa (kuva 13) ei esiinny samanlaista laaja-alaista lämpötilan ali- tai yliennustamista kuin alempana (kuvat 11 ja 12). Virheet ovat hetkellisiä, kuten 4.1. keskisen Skandinavian yllä, tai voimistuvia, kuten Keski-Eurooppaan koillis-lounas-suuntaisesti työntyvän yläsolan kärjen voimakkaan paine-gradientin alueella. Ennusteen edetessä virheitä alkaa esiintyä monin paikoin, mutta virhe vaikuttaa olevan lähinnä yhteydessä korkeuskentän ennustevirheisiin (kuva 10) ja esiintyy samoilla alueilla Keski-Euroopassa ja Pohjois-Atlantilla.

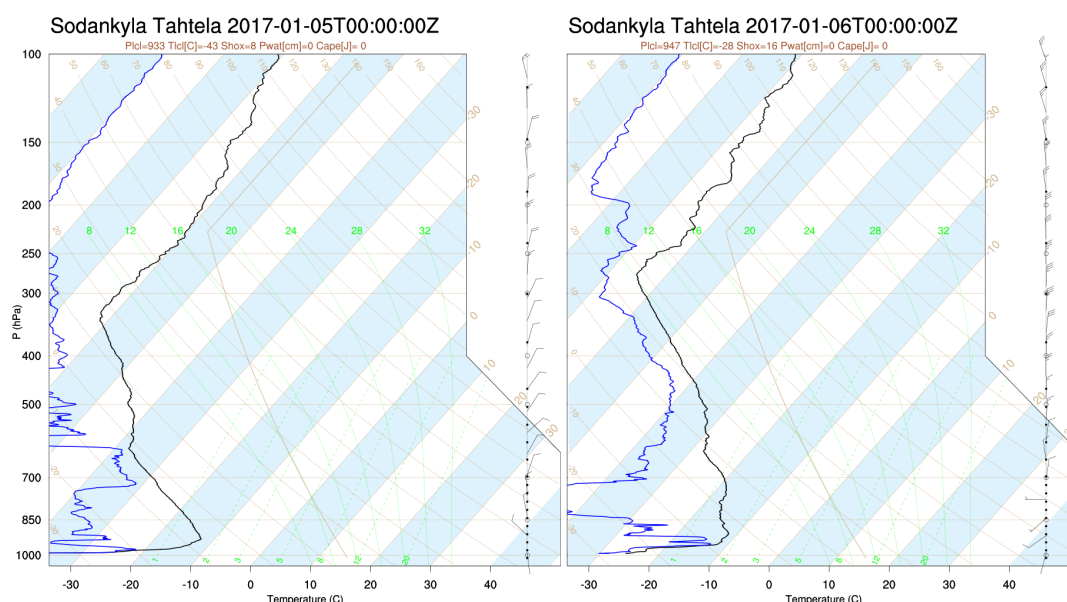


Kuva 13 1.1. initialisoidun HRES-ajon ja analyysin lämpötilojen erotus 500 hPa:n geopotentialikorkeudella päiviltä 3.1.-6.1. 00 UTC, järjestys vasemmalta oikealle. Dynaaminen asteikko, välit -10:stä -2,5 sekä 2,5:sta – 10 astetta 2,5 asteen välein, muuten viiden asteen väli. 500 hPa:n geopotentialikorkeuden analyysi sinisellä 5 geopotentialimetrin välein, lihavoitu isovivaa 500 geopotentialimetrin kohdalla ja 20 yksikön välein sen molemmin puolin.

Suurin yhtäläisyys vapaan ilmakehän ennusteissa on liian korkean lämpötilan alue, joka muodostuu 500 hPa:n korkeudella samaan aikaan ja samaan linjaan kuin 850 hPa:n vastaava alue. Solan itäpuolella olevaa kylmää aluetta ei kuitenkaan näy alempana. On myös huomionarvoista, että joitakin viitteitä Baltian aliennustamiseen, joka näkyi sekä pintaennusteessa että 850 hPa:n ennusteessa 3.1. eteenpäin, voi havaita vielä 500 hPa:n korkeudella.

4.3 Inversio

Mallikenttiä tarkastelemalla huomataan nopeasti, ettei kahden metrin lämpötilan ennustevirhe tarkastelujaksolla Lapissa ja laajemmin Pohjois-Euroopassa korreloi suoraan painekentän tai edes vapaan ilmakehän lämpötilan ennustevirheen kanssa. On siis luontevaa kääntää katse kohti paikallisia olosuhteita.

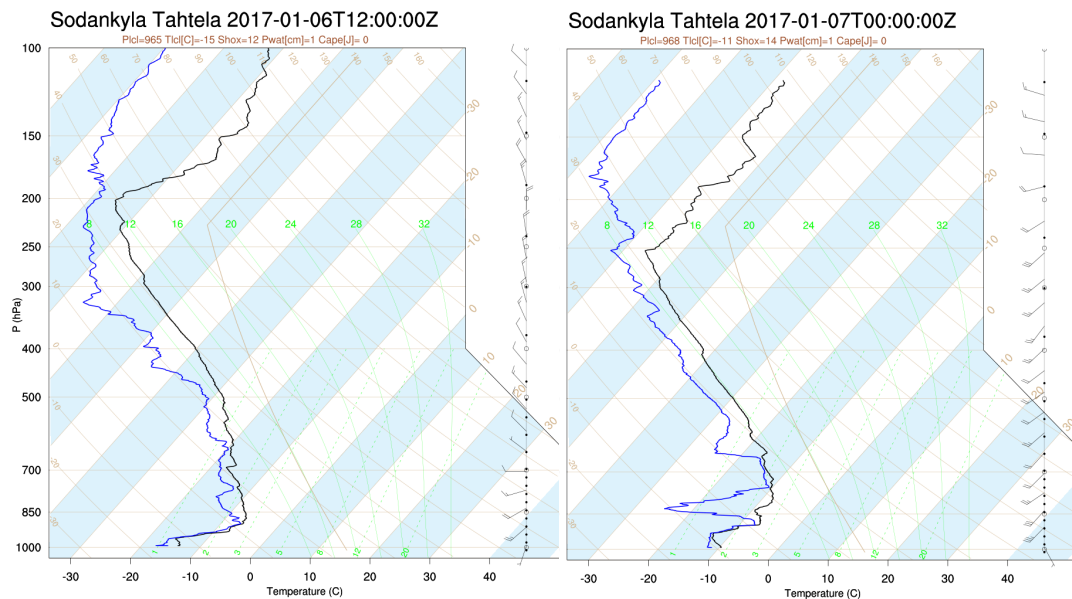


Kuva 14 Luotaukset Sodankylästä 5.-6. 00UTC tammikuuta. Kastepiste sinisellä, lämpötila mustalla.

Sodankylän 12UTC luotauksesta 4.1. (kuva 7) nähdään, että alueella vallitsi voimakas pintainversio, ja tuuli pinnassa oli hyvin heikko ja myös korkeammalla edelleen heikko ja idänpuoleinen. Luotauksista 5.1. ja 6.1. 00 UTC (kuva 14) nähdään, että tuuli voimistuu ja kääntyy lounaan puolelle viidennen päivän aikana, samalla kun inversio alkaa purkautua. Korkeammalla tuuli kääntyi pohjoiseksi ja voimistui, samalla kun lämpötila nousee hieman.

Tammikuun kuudennen päivän (kuva 15) aikana tuuli pinnassa voimistuu edelleen samalla kun inversio nousee pinnasta ja heikkenee nopeasti. Virtaus käy lounaasta, jossa leudosta alkutalvesta johtuen Perämeri on edelleen avoinna (FMI 2017). Näissä olosuhteissa Lappiin muodostuu hyvin helposti sumupilveä ja tässäkin tilanteessa inversio on kostea. Pintainversion

purkautuessa pintalämpötila nousee hyvin nopeasti, tässä tilanteessa kahdessa vuorokaudessa noin 30 astetta.



Kuva 15 Luotaukset Sodankylästä 6.1. 12UTC ja 7.1. 00UTC. Kastepiste sinisellä, lämpötila mustalla.

Pintalämpötilan ennustevirhe Sodankylässä osuu hyvin yhteen inversiotilanteen kehityksen kanssa, kun taas havaittu yleinen virtaustilanne vastaa melko hyvin ennustetta. Virheen syy on siis todennäköisesti inversiossa, etenkin kun ottaa huomioon IFS-mallin dokumentoidut ongelmat pintalämpötilan ennustamisessa vastaavissa olosuhteissa (ECMWF 2016, 2019). IFS ei selvästikään kykene mallintamaan hyvin voimakasta talvi-inversiota. Parviajossa (kuva 2) varsin pitkältä ajalta yksikään parven jäsen ei päässyt lähellekkään todellista pintalämpötilaa ja 30.12.2016 eteenpäin ennustettu lämpötila nousee merkittävästi, samalla kun parven hajonta laskee.

Syy siihen, miksi IFS:llä on vaikeuksia mallintaa inversioita johtuu ainakin osin sen tavasta käsitellä alimman mallikerroksen alapuolista aluetta. Kahden metrin lämpötila, kuten kaikki suureet mallin alimman tason alapuolella ovat johdettuja. IFS:n alimman mallitason alaista, noin kymmenen metrin kerroksen profiilia käsiteltäessä stabiilissa tilanteessa merkittävä tekijä on kerroksen paksuuden ja stabiilisuusparametrin, eli Obukhovin pituuden, suhde (kaava 2.1). Obukhovin pituus taas riippuu voimakkaasti pintatuulesta (kaava 2.3). Kylmässä ja

stabiilissa tilanteessa stabiilisuusparametri jää pieneksi ja positiiviseksi ja empiiriset stabiilisuusfunktiot eivät tuota järkevää profiilia (ECMWF). Tämä kompensoidaan määrittämällä kerroksen paksuus niin, että stabiilisuusparametri rajoittuu arvoon 5.

Tapa, jolla todellinen lämpötila lopulta saavutti ennusteen (kuva 1) on hyvin mielenkiintoinen. Neljännen päivän aikana pintalämpötila alkoi nousta ja se saavutti ennustetun lukeman vähän ennen vuorokauden vaihdetta. Luotauksista nähdään, että tuulen kääntyminen ja inversion purkautuminen alkoivat samohin aikoihin. Kuitenkin tämän jälkeen ennuste lähtee laskemaan lämpötilaa, vaikka trendi on selvästi ylöspäin. Tuulen yltyessä inversio ei mitenkään voi palata, ja koska paine-ennusteet eivät olleet samalla tavalla ongelmallisia kuin pintalämpötilan kohdalla, ei ole järkevää olettaa, että malli olisi ennustanut tuulen laantuvan. Kun tarkastellaan lämpötilan ennustetta 3.1. - 5.1. aikavälillä (kuva 1) huomataan, että malli ennustaa lämpötilan muutoksia huomattavan hyvin 3.1. aikana. Vaikka ennustettu lämpötila on systemaattisesti yli 10 astetta liian korkea, ennustettu ja havaittu kehitys vastaavat toisiaan hyvin 4.1 asti, jolloin ne erkaantuvat hyvin selvästi toisistaan.

4.4 Muita huomioita

ECMWF on tietoinen IFS:n taipumuksesta yliennustaa pintalämpötilaa talvisissa inversiotilanteissa (ECMWF). Lämpötilan muuttuessa jopa kymmenillä asteilla muutaman kymmenen metrin matkalla, resoluutio ei riitä mallintamaan tilannetta oikein. Ongelma korostuu erityisesti talvisin epätasaisessa maastossa ja vuorilla, mistä oli viitteitä myös tässä tutkimuksessa. Tässäkin tutkimuksessa huomattiin, että pintalämpötilan ennustevirhe Skandien päälle oli voimakkaampi ja pitkäkestoisempi kuin Sodankylässä. Ongelma alkaa näkyä selvästi lämpötilan laskiessa alle 15 pakkasasteen (ECMWF, FMI 2017). Tilanteen poiketessa liikaa rajoista, joilla mallin on todettu toimivan hyvin, pintaoletus ei enää tuota hyviä ennusteita. Tämä kompensoidaan pakottamalla pintavuon pystyprofiili staattiseksi, jolloin yhteys mallifysiikkaan menetetään osin alimmalta kymmeneltä metriltä.

Inversio-ongelmaa ei kuitenkaan ole helppo ratkaista, johtuen siitä että malli on säädetty tuottamaan mahdollisimman hyviä tuloksia erilaisissa ympäristöissä (Louis, J-F ja muut, 1982). Globaalimallina IFS laskee alimman mallikerroksen alaiset suureet samalla tavalla koko planeetalle. Sodankylän voimakas inversiotilanne 4.1. ei ole maailmanlaajuisesti kovinkaan yleinen ilmiö, vaikka se ei ole korkeilla leveysasteilla talvella millään lailla poikkeuksellinen. Pintahavaintojen ja erityisesti luotausten parempi hyödyntäminen voi auttaa pystyprofiilin tarkemmassa määrittämisessä, mutta erittäin stabiileissa tilanteissa epätarkkuus nykyisellään on sisäänrakennettu malliin.

IFS:llä on aikaisemmin ollut muitakin ongelmia Suomen lämpötiloja ennustettaessa. Koko 2010-luvun alun ajan IFS on ennustanut Suomeen systemaattisesti liian alhaisia keväisiä pintalämpötiloja erityisesti iltaisain (ECMWF ja FMI 2011, 2012, 2014). Ilmatieteenlaitos kompensoi virheet käsittelemällä IFS 2-metrin lämpötilaa Kalman-suotimella (ECMWF, FMI 2014). Mallin uudemmat versiot ovat parantaneet ennustetarkkuutta kevätlämpötilojen osalta (ECMWF, FMI 2017), mutta Kalman-suodatus jatkuu edelleen.

5 Johtopäätökset

Työssä tarkasteltiin pintalämpötilan ennustevirhettä Sodankylässä alkuvuodesta 2017. Johtuen virheen voimakkuudesta, kestosta, sekä siitä, ettei myöskään parviajo päässyt kovin lähelle todellisuutta, tehtiin ennakko-oletus virtaustilanteen virheestä. Kaakkois-Euroopassa 7.-9.1. koetut voimakkaat lumisateet sekä kylmät lämpötilat viittasivat pohjoisesta saapuneeseen säähäiriöön. Mikäli tämän häiriön kehityksen ennustamisessa olisi ollut virhettä, sillä olisi voinut olla vaikutusta pohjoisen lämpötiloihin esimerkiksi runsaamman pilvisyyden tai voimakkaamman pintatuulen vuoksi.

Tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että malli ennusti painekentän häiriöt, matalapaineet ja niiden reitit erittäin onnistuneesti sekä pinnassa että korkeammalla. Lisäksi Kaakkois-Euroopan säähän vaikuttanut yläsola ei erityisesti vaikuttanut Suomen yllä vaan työnty nopeasti etelään, joten yhteys oli vain ajallinen. Tarkastelujakson loppupuolella paine-ennusteeseen alkoi kertyä virheitä, mutta ne eivät vaikuttaneet Pohjois-Suomen säätilaan.

Pohjois-Suomi kuului tarkastelujaksolla korkeapaineen alueeseen ja tähän liittyvän säätilan malli ennusti varsin hyvin. Vaikka lämpötilan ennusteet pitivät laajalti paikkansa, 60. leveyspiirin pohjoispuolella korkeapaineen alaisilla maa-alueilla liian korkeat pintalämpötilan ennusteet olivat merkillepantavan yleisiä, kun taas Välimerellä oli esiintyn lähinnä aliennustamista. Hyvin nopeasti havaittiin, että virheet koskivat pääosin kahden metrin lämpötilaa, tilanteet joissa lämpötilan virhe jatkui korkeammalla olivat hyvin rajattuja.

Paikallisia olosuhteita ja Sodankylän luotauksia tarkastelemalla havaittiin, että alueella vaikutti jakson aikana voimakas pintainversio. Inversion väistyessä myös lämpötila nousi voimakkaasti ja saavutti ennustetun tason alle vuorokaudessa. Ajallinen yhteys on niin vahva, että on luontevaa olettaa, että juuri inversio oli ennustetta vääristävä tekijä.

Mallien antamia ennusteita tarkasteltaessa on tarpeellista tietää, miten säämalli käsittelee eri suureita. Pintalämpötila ei ole useinkaan dynaaminen suure, ei

myöskään IFS:ssä. Johdetut suureet ovat pitkälti riippumattomia mallin dynamiikasta, tai niihin tehdään korjauksia jotka toimivat vain tietyissä rajoissa. Nämä oletukset altistavat johdetut suureet virheille, erityisesti tilanteissa jotka eivät ole yleisiä, tai ovat hyvin paikallisia. Operatiiviset säämallit ovat työkaluja, jotka kalibroidaan tuottamaan ensisijaisesti mahdollisimman pitäviä ennusteita. Fysikaalisuus on mallin toiminalle välttämätöntä, mutta yleistyksiset ovat välttämättömiä rajallisen pohjatiedon, laskentakapasiteetin ja numeeristen syiden vuoksi.

IFS-malli laskee lämpötilan, kosteuden ja tuulen pintaprofiilit alimman mallitason ja pinnan välillä ja johtaa joukon suureita, mukaanlukien kahden metrin lämpötilan, näistä profiileista. Hyvin stabiilissa tilanteessa tähän laskentaan tehdään rajoituksia, sillä peruskaava on yksinkertaistus, joka toimii vain tietyissä rajoissa. Ilmatieteen laitos on aikaisemmin havainnut tämän ongelman ja huomauttanut ECMWF:ää mallin ongelmista pintalämpötilan suhteen. Ilmatieteen laitoksen mukaan ongelmia alkaa esiintyä lämpötilan laskiessa alle viidentoista pakkasasteen (ECMWF ja FMI 2017). Tutkimuksessa havaittiinkin Pohjois-Euroopassa ja Venäjällä laajaa kahden metrin lämpötilan yliennustamista.

Liian korkea pintalämpötila ei ole ainoa ongelma inversion väärästä ennustamisesta, sillä inversio voi luoda ilmakehään sulamisvyöhykkeitä. Sulamisvyöhykkeissä lämpötila on paikallisesti nollan tienoilla tai sen yläpuolella, ympäristön lämpötilan ollessa alhaisempi. Sulamisvyöhykkeen läpi nouseva tai laskevanlentoliikenne altistuu jäätämiselle, mikä on varsinkin pienlentokoneille hyvin vaarallista. Ilmatieteen laitos on raportoinut IFS:n ajoittain antavan loivempia inversioprofiileja kuin rajatun alueen HIRLAM, siten että vain jälkimmäinen ennustaa sulamisvyöhykkeiden muodostumista (ECMWF ja FMI 2015).

Pintalämpötilan ennusteessa oli havaittavissa ongelmia myös Etelä-Euroopassa, missä lämpötilan aliennustaminen oli varsin laajaa, joskaan ei lähellekään yhtä voimakasta kuin pohjoisen yliennustus, eikä Etelä-Euroopan

lämpötilavirheiden syntymekanismeilla ole tekemistä tarkasteltavan tilanteen kanssa.

On merkillepantavaa, että rajakerrosoletukset eivät välttämättä ole ainoa ennustevirheeseen vaikuttava tekijä. Inversio on hyvin yleinen talvinen ilmiö, mutta 4.1.2017 lämpötilan ennusteen virhe oli huomattavan voimakas. Tämä tutkimus ei myöskään anna tyhjentävää vastausta siihen, kuinka korkealle lämpötilan virhe todellisuudessa jatkuu. On hyvin selvää, että virhe oli pitkälti tasaantunut 850 hPa:n geopotentialikorkeudella. Sen kuinka korkealle parametrisoidun rajakerroksen yläpuolelle virhe vaikuttaa selvittäminen vaatisi laajempaa aineistoa ja alimman kerroksen tarkastelua suuremmalla resoluutiolla.

6 Pohdintaa

Kahden metrin lämpötila on usein ennusteen loppukäyttäjälle hyvin tärkeä suure. Ihmiset suunnittelevat elämäänsä sään ehdoilla, ja pintalämpötila on suure, jota käytetään usein yleistajuisissa yhteyksissä kuvaamaan säätilaa, esimerkiksi, kun puhutaan helteestä tai pakkasesta. Ennustavan meteorologin on järkevää arvioida pintalämpötilaa muutakin tietoa kuin pelkästään mallin ennustamaa lämpötilaa käyttäen. Pilvisyys, ilmamassa, tuuli ja paikalliset olosuhteet ovat asiota, joita on otettava huomioon, mutta huomiota on kiinnitettävä myös mallien toimintaan yleensä.

IFS-mallin talviset pintalämpötilan ongelmat pohjoisessa on dokumentoitu hyvin. Tammikuussa Ilmatieteen laitos onnistui ennustamisessa paremmin kuin IFS-malli yksinään. Lähes koko maassa oli pakkasvaroitusta ja pohjoisessa arvioitiin oikein lämpötilan laskevan alle neljäkymmenen pakkasasteen (Iltasanomat, 4.1.2017). Ennustavat meteorologit eivät Suomessa toimi vain yhden mallin varassa, vaan heillä on käytössään rajatun alueen Hirlam ja Harmonie, sekä globaalimalleista tässä työssä tarkasteltu ECMWF:n IFS ja Yhdysvaltalainen GFS.

IFS:n ongelma on ilmeisen hankala korjata, sillä useista uusista versioista ja pitkään jatkuneesta palautteesta huolimatta se on vaivannut mallia hyvin pitkään. Ilmatieteen laitoksella operatiivista tuotetta korjataan postprosessuimalla sitä Kalman-suotimella. Kuitenkin tietyissä tilanteissa operatiiviselle meteorologille parempi ratkaisu on vain luottaa johonkin toiseen malliin tai jopa puhtaaseen klimatologiaan mallisuureiden sijaan. Tutkimuksessa havaittiin, että pintalämpötilan epätarkkuudet olivat pitkälti riippumattomia mallin dynaamisista suureista, joiden ennustaminen oli varsin tarkkaa. Onkin luultavaa, että ongelmasta päästään lopullisesti vasta kun pintavuoprofiilien mallintaminen muuttuu kokonaan.

Lähteet

- ECMWF, 2016a, IFS Documentation CY43R1, Book Chapter s. 35-37:
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2016/17116-part-iii-dynamics-and-numerical-procedures.pdf>
- ECMWF, 2016b, IFS Documentation CY43R1, Book Chapter s. 35-37:
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2016/17117-part-iv-physical-processes.pdf>
- ECMWF, 2017: Severe Event Catalogue, WWW-dokumentti:
<https://confluence.ecmwf.int/display/FCST/201701+-+Cold+spell+%2C+snowfall+-+Europe>
- ECMWF, 2019: Confluence, WWW-dokumentti:
<https://confluence.ecmwf.int/display/FCST/Known+IFS+forecasting+issues>
- ECMWF, FMI, 2011: Green Book 2011, Book Chapter,
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2011/9348-finland.pdf>
- ECMWF, FMI, 2012: Green Book 2012, Book Chapter,
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2012/9349-finland.pdf>
- ECMWF, FMI, 2014: Green Book 2014, Book Chapter,
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2014/9350-finland.pdf>
- ECMWF, FMI, 2015: Green Book 2015, Book Chapter,
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2015/9343-finland.pdf>
- ECMWF, FMI, 2016: Green Book 2016, Book Chapter,
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2016/16628-finland.pdf>
- ECMWF, FMI, 2017: Green Book 2017, Book Chapter,
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2017/17758-finland.pdf>
- FMI, 2017: Vuodenaikaraportti: <https://ilmatieteenlaitos.fi/jaatalvi-2016-2017>
- Iltasanomat, Pietari Koskinen, 4.1.2017: Uutisartikkeli:
<https://www.is.fi/kotimaa/art-2000005031659.html>
- Louis, J-F, Tiedtke ja M, Geleyn, J-F, 1982: A short history of the PBL parameterization at ECMWF
- Savijärvi, Hannu, 2000: Fysikaalinen Meteorologia 1 s. 5-19, 43-50
- Savijärvi, Hannu, 2010: Numeerinen Meteorologia 1 s. 15-17, 35-49, 51-57